



## 30MHz以下の妨害波の測定法に関する研究

著者	篠塚 隆
号	62
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	工第2241号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10097/00125069">http://hdl.handle.net/10097/00125069</a>

氏 名	しのづか たかし
授 与 学 位	篠 塚 隆
学 位 授 与 年 月 日	博士 (工学)
学位授与の根拠法規	平成 年 月 日
最 終 学 歴	学位規則第4条第2項
	昭和46年3月
	東京都立大学理学部物理学科卒業
学 位 論 文 題 目	30MHz 以下の妨害波の測定法に関する研究
論 文 審 査 委 員	主査 東北大学教授 陳 強 東北大学教授 曾根 秀昭
	東北大学教授 石山 和志

## 論 文 内 容 要 旨

本論文は、30 MHz 以下の妨害波測定法に関する一連の研究をまとめたもので、全編 6 章からなる。第 1 章は序論であり、研究の背景および目的を述べている。

省エネルギー化の普及と電気自動車用無線電力伝送システムなどの導入に伴って、高速スイッチングを利用したスイッチング電源の利用が増大している。そのスイッチング周波数は 30 MHz 以下であり、30 MHz 以下の妨害波が増大する懸念が高まっており、この周波数帯の正確で再現性が良い妨害波測定法の確立が望まれている。従来の妨害波測定法は、不完全な解析モデルで妨害波の評価を行っており測定不確かさの評価も不十分である。そのため、本研究ではより精密な解析モデルを提案し、妨害波測定系を改善することにより、測定確度の向上を目的としている。

第 2 章では、電源線伝導妨害波電圧測定を行う擬似電源回路網 (AMN) の特性について S パラメータを用いて解析・評価する手法を提案し、その有効性を述べている。

従来の AMN 基本特性の測定は、AMN の各ポートの終端条件が多様であるため極めて煩雑であった。また、従来の研究では AMN における EUT 電源線間は独立であると仮定しているが、実際には線間の電磁結合が存在するため、線間の電磁結合に起因する EUT 妨害波測定の不確かさを明らかにする必要があった。そこで、本研究では S パラメータを用いた AMN の測定法を提案した。AMN を 5 ポート回路網の S パラメータで表現し、信号源と各ポートの反射条件をそれぞれ信号源ベクトル、反射係数行列で表すことにより、AMN の各ポートの電圧・電流を表す行列関係式を導出し、行列関係式の計算を容易にするために逐次近似法による近似式も導出した。次に、市販の V 型 AMN の S パラメータを測定し、導出した式を用いて AMN の基本特性を詳細に検討した。その結果、AMN インピーダンスは、電源ポートや EUT ポートの非測定端子を開放や短絡 ( $|\Gamma|=1$ ) すると、2 % 程度変動することを明らかにし、整合終端すべきであることを指摘した。また、測定器ポートの終端条件 ( $|\Gamma|=0.09$ ) によって 1 % 程度変化することを明らかにした。さらに、EUT の反射係数は通常不明であるが 1 に近くなると、非測定 EUT ポートの妨害波が測定器に混入して測定誤差が 1 dB 近くに増大することが分かり、電源線伝導妨害波測定における測定不確かさに電源線間結合に起因する不確かさの影響が大きいことを明らかにした。これは、電源線伝導妨害波電圧測定を高精度に行うため

に、極めて重要な知見である。

第3章では、AMN インピーダンス測定に用いる AC・同軸アダプタの校正法について理論的及び実験的に解析を行い、新たな S パラメータ法を用いた手法を開発提案した。提案法では、アダプタ対の S パラメータを測定してアダプタ単体の特性を導出した。提案法を用いて、特性の異なる2種類の AC・同軸アダプタを従来の校正法と S パラメータ法で校正を行い、市販 AMN の AMN インピーダンス推定を行った。その結果、AMN インピーダンス測定の生データは、使用した AC・同軸アダプタの特性に強く依存するため、アダプタを校正してアダプタの影響を補正することが不可欠であることを示した。従来のオープン/ショート校正法と Kriz 校正法は AMN インピーダンスの測定において同程度の補正值を示すが、電気長補正法はかなり異なる値であることが判った。さらに、S パラメータ法は、オープン/ショート校正法と同様の AMN インピーダンス推定値を示すと共に、アダプタの特性にかかわらずほぼ同じ推定値を示すことを実証した。さらに、従来分析されていなかった各校正法と S パラメータ法の不確かさ評価を行い、S パラメータ校正法は従来の校正法よりも不確かさが小さいことを明らかにした。本提案法により、AMN インピーダンス測定に用いる AC・同軸アダプタの校正精度を大幅に改善した。

第4章では、通信線伝導妨害波の測定に用いる不平衡擬似回路網 (AAN) について、市販の回路網はコモンモード電圧の測定値と実際に通信線に流れるコモンモード電流が比例しないという重大な欠陥があるため、新たな改良シャント型 AAN を提案・開発した。まず、AAN の回路解析を行い、その設計法を検討し、それに基づいて試作器を製作した。試作した改良シャント型 AAN は国際規格 (CISPR 規格) を十分に満たしていることが判った。また、コモンモード電圧とコモンモード電流の比の値は約  $150\ \Omega$  で、AAN のコモンモード・インピーダンスに等しいことが判った。さらに、市販のシャント型 AAN と近年開発された非対称トランス型 AAN および本論文提案の改良シャント型 AAN について、模擬 EUT に対する応答を比較した。その結果、本論文提案の改良シャント型 AAN と非対称トランス型 AAN はコモンモード電圧と通信線に流れるコモンモード電流が比例していることを実証した。

第5章では、妨害波磁界測定法の一つであるループアンテナシステム (LAS) 測定法について、従来の不十分な解析モデルではなく、実際の LAS を模擬した精密な LAS モデルをモーメント法を用いた電磁界解析で基本特性を再検証し、LAS 測定法の高精度化を図った。その結果、LAS 測定法は、磁氣的波源の EUT の妨害波測定には有効であるが、電氣的波源の EUT に対しては過小評価するので適していないことを指摘した。また、磁氣的波源の EUT を  $\pm 3\ \text{dB}$  以内の差違で再現性のある LAS 測定をするには、EUT の大きさを  $1\ \text{m}$  以内にすべきであることを指摘した。さらに、電氣的波源の EUT を LAS 測定する場合は、EUT の設置位置によって測定値が大きく変化するため、再現性の良い測定が困難であることを示した。そして、EUT の電源線に流れるコモンモード電流が LAS 測定に無視できない影響を与えることがあることを明らかにし、ループアンテナシステム (LAS) 測定法をより高い周波数でも高精度に行えることを実現した。

本研究の精密なモデルによる理論解析と実測で  $30\ \text{MHz}$  以下の妨害波測定法や測定機器の問題点と改善すべき点が数多く明らかになった。さらに、本研究が提案した手法により、測定確度向上のための方策を示すことができ、正確で再現性が良い妨害波測定法の確立に貢献できた。

今後、これらの改善すべき点を修正することが必要であり、既に一部は国際規格 (CISPR 規格) に修正を提案している。

# 論文審査結果の要旨

近年、太陽光発電の普及やガソリン自動車から電気自動車への転換、LED ランプ等の利用が加速しており、これに伴ってスイッチング周波数 10 kHz から 30 MHz のスイッチング電源の利用が爆発的に増加している。このため、これらの機器から発生する不要電磁波、すなわち妨害波による無線通信障害が懸念されており、妨害波測定の重要性が著しく高まっている。このような背景から本論文は、30 MHz 以下の妨害波測定の確度向上を目的として行った一連の研究をまとめたもので、全編 6 章からなる。

第 1 章は序論であり、本研究の背景および目的を述べている。

第 2 章では、電源線伝導妨害波の測定に用いる擬似電源回路網(Artificial Mains Network, AMN)の特性測定法に散乱行列を用いることを提案している。AMN の基本特性を散乱行列で表現した厳密式と近似式を導出し、AMN の各ポートにおける終端条件による測定の誤差を明らかにしている。また、AMN の非測定ポートの妨害波の混入により測定誤差が 1 dB 近く増大することも明らかにしている。提案された AMN 特性測定法は電源線妨害波測定の確度向上に有用であり優れた研究成果である。

第 3 章では、AMN 特性測定に用いる AC-同軸アダプタの校正法として、散乱行列校正法を提案している。本提案法はアダプタの特性にかかわらずほぼ同じ AMN インピーダンス値を与える優れた方法であり、従来の校正法より不確かさの少ない校正法であることが実験的に示されている。

第 4 章では、通信線伝導妨害波の測定に用いる不平衡擬似回路網 (Asymmetric Artificial Network, AAN) として、改良型 AAN を提案している。回路解析を行うことにより、AAN の設計法を検討した。その設計法に基づいて設計した改良型 AAN による実験では、被測定機器のコモンモードインピーダンスにかかわらず、通信線路のコモンモード電流を正しく評価できることを実証している。この成果は、妨害波を抑制するための電子機器設計に大変有用であり、優れた研究成果である。

第 5 章では、ループアンテナシステム (Loop Antenna System, LAS) を用いた妨害波磁界測定法の高精度化を図っている。実際の LAS に対し、精密に模擬した解析モデルを提案することにより、LAS 測定法の電磁界数値解析の結果が実測値とよく一致していることが分かった。また、被測定機器の電源線コモンモード電流が LAS 測定に無視できない影響を与えることを見出している。これらの研究成果は LAS を用いた妨害波磁界の測定精度の向上に有用な知見を与えるものであり、高く評価される。

第 6 章は結論である。

以上要するに本論文は、30 MHz 以下の妨害波測定法について、理論解析と実測に基づいて測定確度を向上するための手法を体系的に研究したものであり、その成果の実用的な価値は極めて高く、環境電磁工学及び通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。